

Sygnał klimatyczny w seriach przyrostów radialnych jodły pospolitej oraz modrzewia europejskiego

Sławomir Wilczyński, Bogdan Wertz

Abstrakt. Badane w pracy drzewa wykazywały wiele indywidualnych cech przyrostowych. Jednak jodły (*Abies alba* Mill.) cechowały się odmiennym od modrzewi (*Larix decidua* Mill.) rytmem przyrostowym. Gatunkowe cechy reakcji przyrostowych drzew stwierdzano już w 10-letnich seriach. Im były one dłuższe, tym cechy te były silniejsze. Jodły oraz modrzewie wykazywały podobną wrażliwość przyrostową na warunki termiczne, pluwialne i radiacyjne września poprzedniego roku oraz na warunki termiczno - pluwialne marca roku, w którym tworzony był słoń drewna. Czynniki różnicującymi rytm przyrostowy drzew obu gatunków były: warunki radiacyjne czerwca, opady września poprzedniego roku oraz temperatura lutego roku bieżącego. O odmienności reakcji przyrostowych osobników danego gatunku decydowały: warunki termiczno - radiacyjne stycznia, opady w marcu, temperatura w sierpniu oraz opady w październiku bieżącego roku.

Słowa kluczowe: słoń drewna, czułość roczna, reakcje przyrostowe, *Abies alba*, *Larix decidua*

Abstract. Tested trees had a lot of individual features of the radial growth. In addition, firs (*Abies alba* Mill.) were characterized by a distinctive rhythm of incremental, which differentiates them from the larches (*Larix decidua* Mill.). Characteristics of species of trees incremental rhythm was found in 10-years old series. It was also found that the fir and larch showed similar sensitivity to incremental thermal, radial and pluvial conditions in September of the previous year and thermal and pluvial conditions in March of the year in which created a tree-ring. The factors differentiating the incremental rhythm of trees of both species were: radial conditions in June, precipitation in September of the previous year, and the temperature in February of this year. Incremental response of different trees of the species is determined by: thermal-radiation conditions of the January, precipitation in the March, temperature in August, falls in the October of this year.

Key words: tree-ring, annual yearly sensitivity, growth responses, *Abies alba*, *Larix decidua*

Wstęp

Odpowiedzią drzewa na sprzyjające warunki pogodowe jest między innymi wytworzenie szerokiego słoja drewna. Warunki meteorologiczne są najbardziej zmiennym czynnikiem środowiska, kształtującym wielkość słoików drewna. Zmiany wielkości słoików z roku na rok nazywamy krótko-okresowymi reakcjami przyrostowymi drzew (Bruchwald 1988). Występujące pomiędzy drzewami różnice w tych reakcjach wynikają głównie z ich odmiennej wrażliwości na czynniki pogodowe, modelowanej przez wiek, genom, cechy miejsca wzrostu oraz inne zdarzenia losowe (Bruchwald 1988; Oleksyn et al. 1994). Często reakcje przyrostowe drzew są do siebie podobne. Jeśli dotyczy to drzew danego gatunku określane jest mianem telekoneksji, natomiast w przypadku drzew różnych gatunków mówimy o heterokoneksji. Do oceny podobieństwa oraz różnic we wrażliwości

drzew różnych gatunków na czynnik meteorologiczny wykorzystuje się najczęściej metodę zbieżności (Eckstein, Bauch 1969) oraz funkcji odpowiedzi - *response function* (Fritts et al. 1971), natomiast obiektem analiz są zwykle chronologie stanowiskowe, lokalne lub regionalne (Feliksik, Wilczyński 1998, 2001, 2008, 2009; Tardif et al. 2001; Rolland 2002; Muter 2004; Frank, Esper 2005, Battipaglia et al. 2009, Wilczyński 2010). Badanie zachowań przyrostowych drzew w oparciu o ich serie różnych cech słoju wydaje się być zagadnieniem interesującym, bowiem dotychczas problem ten był stosunkowo rzadko podejmowany (Feliksik, Wilczyński 2008; Wilczyński 2010). Serie słoju drzew można traktować jako wielowymiarowe obiekty, na które składają się dziesiątki zmiennych. Na obiektywną klasyfikację tak licznych cech pozwalają wielowymiarowe techniki eksploracyjne (Dobosz 2004). W celu wyeksponowania corocznej zmienności reakcji przyrostowych drzew, serie szerokości słoju transformuje się za pomocą różnych metod (Cook 1995). Jedną z nich jest obliczanie indeksu przyrostowego - czułości rocznej, będącej miarą corocznej dynamiki przyrostowej drzew (Fritts 1976).

Celem pracy była identyfikacja elementów meteorologicznych, kształtujących krótkookresowe reakcje przyrostowe jodeł oraz modrzewi. W oparciu o osobnicze serie czułości próbowano ustalić, czy drzewa wykazują specyficzne dla gatunku oraz zajmowanego przez nie mikrosiedliska glebowego reakcje przyrostowe. Badano również, jak długie muszą być serie, aby gatunkowy rytm przyrostowy drzew mógł się w nich w pełni ujawnić.

Material i metody

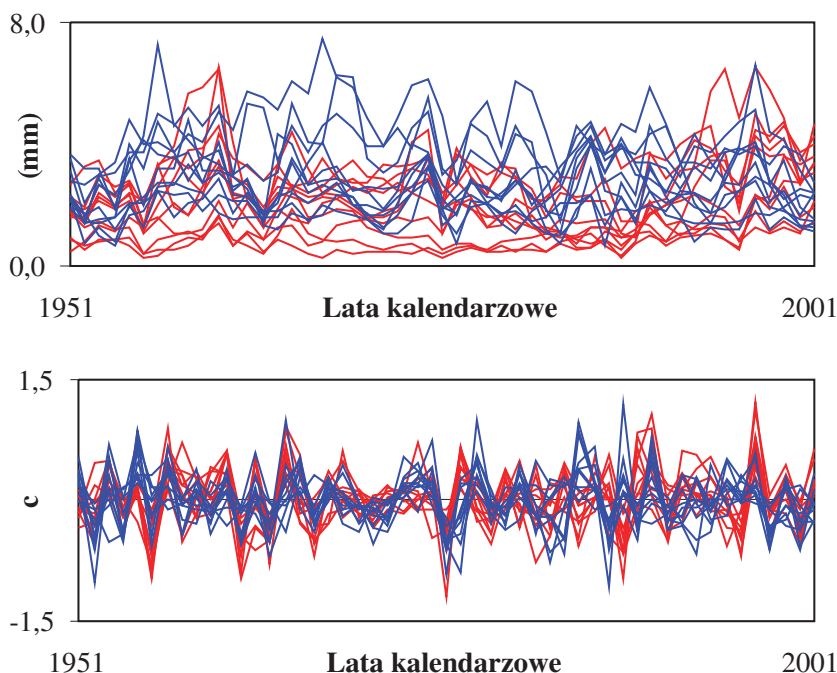
Do badań wybrano 10 jodeł (*Abies alba* Mill.) oraz 10 modrzewi (*Larix decidua* Mill.) w wieku ok. 80 lat, niewykazujących oznak chorobowych oraz należących do pierwszej lub drugiej klasy Krafta. Drzewa rosły na granicy wydzielenia 79c i 80c w Nadleśnictwie Zagnańsk, wzdłuż transektu wilgotnościowego gleby - od suchego grzbietu do wilgotnego podnóża. Na wilgotnych stanowiskach znajdowały się jodły o numerach 1, 2 i 3, a na suchych — 8, 9 oraz 10. Z kolei modrzewie o numerach 8, 9 i 10 rosły na stanowiskach wilgotnych, natomiast 1, 2 i 3 na suchych. Z pni drzew, od strony południowej pobrano po jednym wywiercie. Następnie na wywiertach pomierzono szerokości słoju rocznych, tworząc dla każdego drzewa chronologiczną serię szerokości słoju. Za pomocą programu COFECHA (Holmes 1983) sprawdzono poprawność datowania słoju. W dalszej kolejności wartości szerokości słoju transformowano, obliczając w każdym roku indeks przyrostowy — tzw. czułość roczną (c): $c_i = 2 (x_i - x_{i-1}) / (x_i + x_{i-1})^{-1}$, gdzie: x_i — szerokość słoja w roku i , x_{i-1} — szerokość słoja w roku poprzednim (Fritts 1976). W ten sposób uwypuklono coroczne zmiany wielkości słoju, a krótkookresowy rytm przyrostowy każdego drzewa reprezentowany był przez serię czułości obejmującą lata 1951-2001. Do oceny podobieństwa przebiegu serii w pierwszej kolejności wykorzystano metodę korelacji liniowej, natomiast do oceny stopnia jednorodności reakcji przyrostowych drzew średni współczynnik korelacji serii (r_{mean}) (Briffa 1984; Wigley et al. 1984). Obliczono również wskaźnik EPS (*Expressed Population Signal*), który wskazuje na reprezentatywność badanych serii w opisie zmienności reakcji przyrostowych danej populacji drzew (Briffa 1984; Wigley et al. 1984). Sugerowana minimalna wartość EPS równa jest 0,85 (Wigley et al. 1984). Obliczono także wskaźnik SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) (Graybill 1982), który informuje o sile sygnału wysokiej częstotliwości (zmienności krótkookresowej) w stosunku do szumów (zmienności długofalowej). Wskazuje on na użyteczność badanych serii drzew przy poszukiwaniu związków klimat - przyrost radialny. Minimalna wartość SNR wynosi 5,7 (Wilczyński 2010). W związku z tym, że wartości EPS oraz SNR zależą od wielkości próby (N), a osiągają wartości minimalne już przy 9 seriach (Wilczyński 2010), analizowano po 10 drzew (serii) obu gatunków.

W celu pogrupowania osobniczych serii szerokości słoju oraz czułości w jednorodne pod-

zbiory wykorzystano wielowymiarową metodę analizy skupień (CA) (Dobosz 2004). Zastosowano metodę aglomeracji Warda i euklidesową miarę odległości. Testowano różne długości serii. Do opisu struktury zależności pomiędzy badanymi seriami oraz identyfikacji czynników determinujących zmienność serii osobniczych zastosowano analizę głównych składowych (PCA). Obliczenia wykonano za pomocą programu komputerowego Statistica ver. 9. W analizach uwzględniano temperaturę powietrza, opady atmosferyczne oraz usłonecznienie, główne czynniki warunkujące wzrost roślin. W dotychczasowych badaniach dendroklimatycznych usłonecznienie rzadko uwzględniano, a ma ono ważny, wpływ na przyrost radialny drzew (Wilczyński, Podlaski 2007a, b; Wilczyński 2010). Dane meteorologiczne pochodziły ze stacji IMGW w Kielcach, oddalonej od stanowiska badawczego o ok. 20 km.

Wyniki

Serie szerokości słoików 10 jodeł i 10 modrzewi wykazywały zmienność roczną, wyraźne średniookresowe fluktuacje, a niektóre z nich trendy (ryc. 1). Różniły się one poziomem przyjmowanych wartości oraz w wielu przypadkach odmiennym przebiegiem w interwałach rocznych i wieloletnich. Wzrokowa ocena przebiegu serii rzeczywistych nie pozwoliła jednak na ich sensowną klasyfikację. Serie czułości nie wykazują trendu oraz zredukowane zostały w nich fluktuacje średniookresowe (ryc. 1). Mają one zróżnicowany przebieg, jednak opierając się na ich wizualnym obrazie nie można wyodrębnić wyraźnych grup serii.

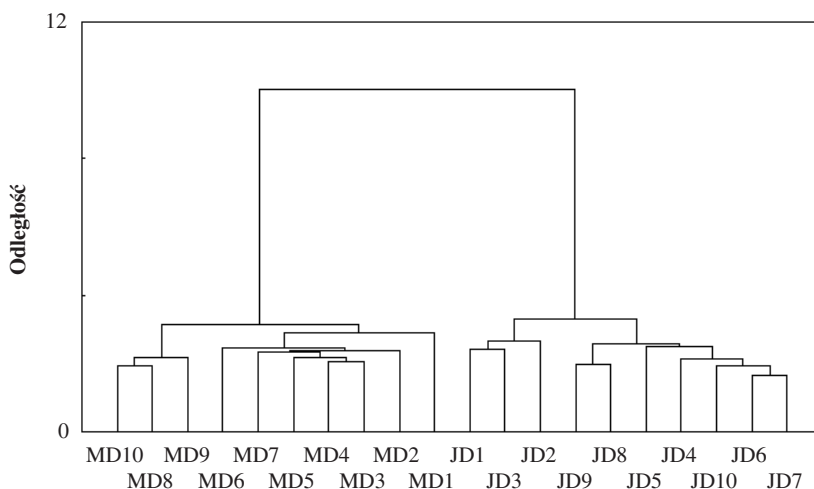


Ryc. 1. Serie szerokości słoików (rycina górna) oraz serie czułości (rycina dolna) jodeł (linie czerwone) oraz modrzewi (linie niebieskie)

Fig. 1. Tree ring width series (top) and sensitivity series (bottom) for firs (red lines) and larches (blue lines)

Zdecydowanie silniejsze korelacje stwierdzono pomiędzy seriami czułości niż seriami szerokości słoju, a także pomiędzy seriami drzew w ramach danego gatunku. Często jednak występowały istotne ($\alpha=0,05$) korelacje pomiędzy seriami jodeł i modrzewi. Metoda oceny podobieństwa serii czułości w oparciu o wartość współczynnika korelacji nie pozwoliła zatem na wyodrębnienie gatunkowych grup serii drzew, czy też związanych z zajmowanym przez nie mikrosiedliskiem (wilgotnością gleby). Jednak serie drzew danego gatunku wykazują większe korelacje niż ma to miejsce w przypadku serii drzew różnych gatunków. Obliczony wskaźnik r_{mean} dla serii jodłowych wyniósł 0,584, natomiast modrzewiowych 0,474. Z kolei wskaźnik EPS modrzewi równy był 0,9 i niewiele różnił się od EPS jodeł (0,93). Jodły miały jednak dużo wyższy wskaźnik SNR (14) niż modrzewie (9).

Wykonana następnie dla 20 serii szerokości słoju, obejmujących okres 1951-2001, analiza skupień nie pozwoliła na ich pogrupowanie w skupienia gatunkowe lub związane z uwilgotnieniem gleby. W przypadku serii czułości wyodrębnione zostały dwa skupienia najwyższego rzędu. Pierwsze obejmowało serie czułości jodeł, drugie serie modrzewi (ryc. 2). Drzewa z wilgotnych stanowisk — jodły o numerach 8, 9 i 10 oraz modrzewie 1, 2 i 3 zgrupowane zostały w odrębnych skupieniach niższego rzędu.



Ryc. 2. Dendrogram serii czułości jodeł (JD) oraz modrzewi (MD). Zastosowano metodę aglomeracji Warda oraz odległość euklidesową

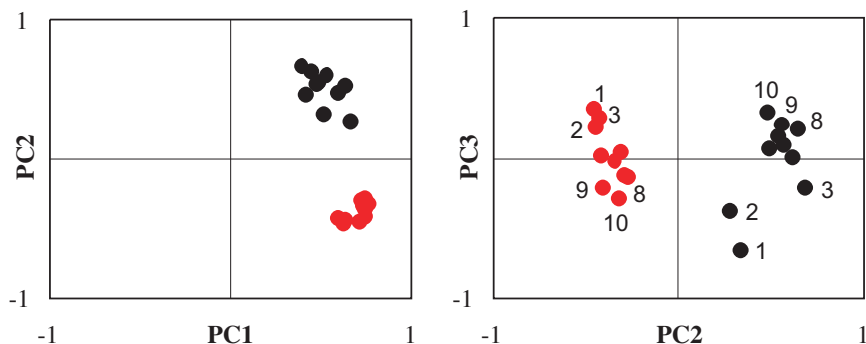
Fig. 2. Dendrogram of sensitivity series for firs (JD) and larches (MD). Ward's agglomerative clustering method, and Euclidean distance

W przypadku 30-letnich serii wyniki grupowania były podobne, lecz słabiej zarysowała się odmienność serii drzew stanowisk wilgotnych. Wyniki grupowania 10-letnich serii były zróżnicowane. W przypadku niektórych dziesięcioleci brak było wyraźnie wyodrębnionych skupień serii drzew określonego gatunku. W przypadku innych utworzone zostały dwa różne skupienia najwyższego rzędu grupujące serie drzew danego gatunku. Wraz ze skracaniem długości serii zmniejszała się odległość skupień. Im krótsze były serie, tym coraz mniejsze były różnice pomiędzy nimi, co oznacza, że specyfika rytmu przyrostowego drzew obu gatunków stopniowo zacierzała się. Gatunkowe cechy rytmu przyrostowego w pełni wyeksponowane zostały dopiero w 30-letnich seriach, a ich odmienność rosła wraz z długością serii, co potwierdza wyniki innych badań (Wilczyński 2010). Słabiej zarysowały się różnice reakcji przyrostowych drzew, które związane były z zajmowanym przez nie mikrosiedliskiem.

Analiza skupień nie pozwala jednak na identyfikację czynników, które zdecydowały o różnicach w reakcjach przyrostowych badanych drzew. W związku z tym zastosowano dodatkowo analizę głównych składowych. W oparciu o wykres osypiska do dalszych analiz pozostawiono trzy pierwsze główne składowe. Wyjaśniały one łącznie ponad 65% całkowitej zmienności serii czułości. Pierwsza główna składowa (PC1) wyjaśniała prawie 38% całkowitej wariancji serii, druga (PC2) 21%, natomiast trzecia (PC3) ponad 6%. PC1 ma zatem największy wpływ na zmienność serii, dzięki temu jest ona najskuteczniejsza w opisie zmienności reakcji przyrostowych badanych drzew. Analiza ładunków czynnikowych (współczynników korelacji głównych składowych z seriami czułości) wskazała na integrujący charakter pierwszej składowej. PC1 stosunkowo silnie, dodatnio korelowała ze wszystkimi 20 seriami czułości (ryc. 3).

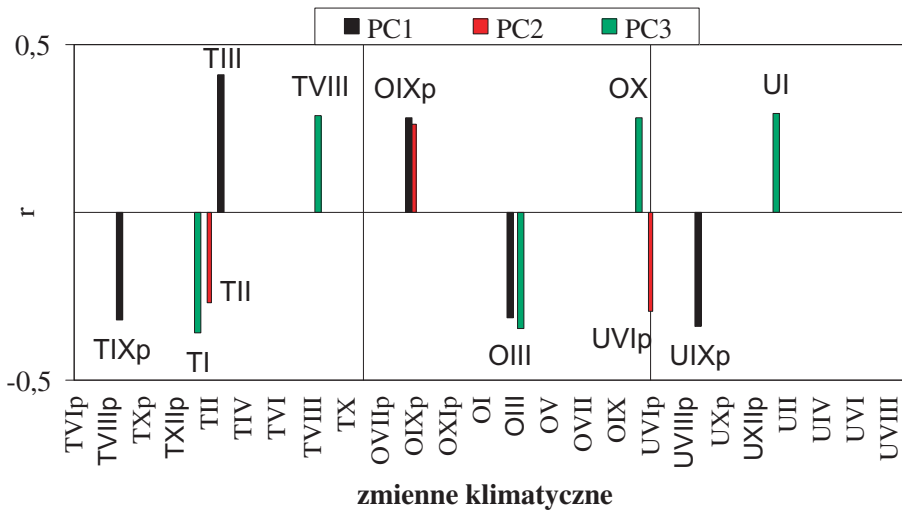
Na podstawie ładunków czynnikowych drugiej głównej składowej (PC2) wyróżniono dwie grupy serii czułości - modrzewiowe oraz jodłowe, natomiast ładunki PC3 pozwoliły wyróżnić serie w ramach obu badanych gatunków związane ze stopniem uwilgotnienia stanowiska, na którym rosły drzewa. Wyniki powyższe korespondują zatem z wynikami analizy skupień (ryc. 2). W celu identyfikacji charakteru poszczególnych głównych składowych korelowano ich wartości z różnymi parametrami klimatycznymi (średnią miesięczną temperaturą powietrza, miesięcznymi sumami opadów atmosferycznych oraz miesięcznymi sumami usłonecznienia z lat 1951-2001) (ryc. 4).

Okazało się, że pierwsza główna składowa istotnie ($\neq 0,05$), ujemnie korelowała ze średnią temperaturą i z sumą usłonecznienia września poprzedniego roku oraz z sumą opadów marca bieżącego roku, dodatnio zaś z sumą opadów września poprzedniego roku oraz ze średnią temperaturą marca roku, w którym odkładany był sój drewna (ryc. 4). Przypomnijmy, że pierwsza składowa w podobny sposób kształtowała rytm przyrostowy drzew obu gatunków (ryc. 3). Składają się na nią elementy meteorologiczne miesięcy roku, w którym odkładany był sój drewna oraz poprzedzającego go roku. PC2 ujemnie korelowała z sumą usłonecznienia czerwca poprzedniego roku oraz średnią temperaturą lutego bieżącego roku. Warunki powyższe miały istotny, różnicujący wpływ na reakcje przyrostowe drzew obu gatunków (ryc. 3). Z kolei trzecia składowa istotnie, dodatnio korelowała z sumą usłonecznienia stycznia, temperaturą sierpnia i opadami października roku odkładania słoja oraz ujemnie ze średnią temperaturą stycznia oraz opadami marca tegoż roku (ryc. 4). Różnicowała ona rytm przyrostowy drzew rosnących na stanowiskach o odmiennej wilgotności (ryc. 3). Ona także ma wielowymiarowy charakter, lecz obejmuje wyłącznie warunki pogodowe miesięcy roku, w którym odkładany był sój drewna.



Ryc. 3. Położenie serii czułości jodeł (czerwone punkty) i modrzewi (czarne punkty) względem ładunków czynnikowych trzech głównych składowych (PC1, PC2, PC3)

Fig. 3. Position of sensitivity series of firs (red dots) and larches (black dots) in relation to factor loadings of 3 principal components (PC1, PC2, PC3)



Ryc. 4. Współczynniki korelacji Pearsona (r) ($p < 0,05$) pomiędzy wartościami trzech głównych składowych (PC1, PC2, PC3) i parametrami klimatycznymi: miesięcznymi wartościami temperatury powietrza (T), opadów (O) oraz usłonecznienia (U) od czerwca poprzedniego roku (VIp) do października bieżącego roku (X)

Fig. 4. Coefficients of Pearson correlation (r) between 3 principal components (PC1, PC2, PC3) and climatic parameters: monthly values of air temperatures (T), precipitation (O) and sunshine (U) from previous year's June (VIp) to current year's October (X)

Dyskusja

Uzyskane wyniki wskazują, że modrzewie charakteryzowały się większym niż jodły zróżnicowaniem rytmu przyrostowego. Prawdopodobnie jest to cecha gatunkowa modrzewia, na co wskazują badania Wilczyńskiego (2010). Serie czułości jodeł charakteryzowały się wyraźnie silniejszym sygnałem wysokiej częstotliwości oraz jakością dendroklimatyczną, przy czym wykazywały one podobną do serii modrzewi reprezentatywność. Wartości EPS oraz SNR obu gatunków były wysokie. Znacznie przekraczały wartość minimalną i były wyższe niż w populacjach drzew rosnących w skrajnych warunkach klimatycznych (Lindholm et al. 1997; Tardif et al. 2001; Kilgore, Telewski 2004; Tuovinen 2005). Świadczy to o efektywności wskaźnika czułości rocznej w ujawnianiu krótkookresowej zmienności reakcji przyrostowych drzew oraz o silnym wpływie na ich wzrost klimatu umiarkowanego - przejściowego.

Interpretując merytoryczny sens pierwszej składowej, traktowanej jako ponadgatunkowy indeks reakcji przyrostowych, można stwierdzić, że warunki pogodowe września roku poprzedzającego przyrost mają ważny, podobny wpływ na wielkość przyrostu radialnego drzew obu badanych gatunków. Decydują one o zakończeniu procesów przyrostowych u drzew i koncentrowaniu się ich na uzupełnianiu i kończeniu procesów akumulacji substancji zapasowych, decydujących o ich kondycji podczas nadchodzącej zimy oraz na wiosnę. Z materiałów tych drzewa mogą korzystać w neuraltgicznych dla siebie okresach spoczynku oraz na początku okresu wegetacyjnego. Warunki pogodowe tego miesiąca mają także wpływ na ostateczną liczbę i jakość pączków wegetatywnych oraz generatywnych decydujących o ilości pędów i igieł oraz kwiatów i owoców (szyszek). Te z kolei mają odmienny wpływ na wielkość przyrostu radialnego w roku następnym (Chałupka 1975; Chałupka et al. 1976). Korzystny wpływ na kondycję drzew, a później na ich możliwości przyrostowe

we miał zatem mokry, pochmurny i chłodny wrzesień. Z kolei ciepły i bezchmurny marzec także pozytywnie wpływał na wielkość przyrostu radialnego drzew obu gatunków. Wiadomym jest, że im wcześniej kończy się okres zimowego spoczynku, tym szybciej rozpoczynają się procesy biochemiczne i fizjologiczne prowadzące do odkładania przez drzewa szerszych słoików w następnych miesiącach. Interpretacja drugiej składowej, będącej miarą gatunkowego rytmu przyrostowego i różnicującej rytm przyrostowy jodeł oraz modrzewi jest trudniejsza, lecz możliwa. Warunki radiacyjne wiosny decydują o różnicowaniu się pączków na wegetatywne i generatywne (Chałupka, Kosiński 1986; Chałupka 1993), a relacja między ilością obu rodzajów pączków ma istotny wpływ na przyrost radiany drzew w następnym roku. Z kolei masa szyszek jodły różni się od masy szyszek modrzewia. W konsekwencji u obu gatunków wpływ obfitego obradzenia na przyrost drewna może być odmienny. Badania dendroklimatyczne wskazują (Wilczyński 2010) także, że modrzew jest zdecydowanie mniej wrażliwy na temperaturę lutego niż jodła. Zatem termika tego miesiąca, jako składowa czynnika różnicującego przyrost drzew obu gatunków, znajduje merytoryczne uzasadnienie. Trzecia składowa, różnicująca rytm przyrostowy drzew w ramach obu gatunków może być interpretowana jako siedliskowy indeks przyrostowy. Składające się na nią warunki termiczne i radiacyjne stycznia mają odmienny wpływ na reakcje przyrostowe drzew rosnących na stanowiskach o różnej wilgotności. W praktyce łatwiej często obserwuje się, że drzewa rosnące na wilgotnych stanowiskach rzadziej ulegają uszkodzeniom mrozowym. Z kolei opady występujące w sierpniu, kiedy często dochodzi do znacznego obniżenia poziomu wód gruntowych (Prusinkiewicz, Puchalski 1996), mają odmienny wpływ na wzrost drzew na stanowiskach mających większą zdolność do jej magazynowania niż na stanowiskach suchych. Trudniej zinterpretować różnicujący wpływ na przyrost drzew opadów występujących w październiku danego roku. Jego znaczenie w kształtowaniu przyrostów radialnych wskazuje jednak, że i w tym miesiącu dochodzi u drzew do podziałów kambium waskularnego (Ermich 1959), którego intensywność może zależeć od stosunków wodnych w glebie.

Wnioski

- Zaprezentowany w pracy przykład pokazuje, że jodły i modrzewie wykazują charakterystyczny dla swojego gatunku krótkookresowy rytm przyrostowy. Czynnikiem różnicującym reakcje przyrostowe drzew obu gatunków były niektóre elementy meteorologiczne.
- Różnice w krótkookresowych reakcjach przyrostowych występowały również pomiędzy osobnikami danego gatunku. Czynnikiem różnicującym był również warunki pogodowe, których wpływ na przyrost drzew modelowany był przez warunki wilgotnościowe gleby.
- Oprócz różnic jodły i modrzewie wykazywały wiele podobieństw rytmu przyrostowego, o których także zdecydował czynnik meteorologiczny.
- Wyniki pracy wskazują, że w celu ujawnienia czynników decydujących o cechach reakcji przyrostowych drzew — wspólnych (ponadgatunkowych), gatunkowych oraz osobniczych - można z powodzeniem wykorzystać osobnicze serie czułości.
- Im dłuższe były serie drzew, tym gatunkowe oraz osobnicze cechy rytmu przyrostowego eksponowane były w nich silniej. W pełni ujawniały się one w seriach 30-letnich.
- Analiza skupień oraz analiza głównych składowych mogą być bardzo pomocne w typologicznej klasyfikacji krótkookresowego rytmu przyrostowego drzew. Analiza głównych składowych pozwala dodatkowo na identyfikację czynników determinujących reakcje przyrostowe drzew.

Literatura

Battipaglia G., Saurer M., Cherubini P., Siegwolf R. T. W., Cotrufo M. F. 2009. *Tree rings indicate different drought resistance of a native (*Abies alba* Mill.) and a nonnative (*Picea abies* (L.) Karst.) species co-occurring at a dry site in Southern Italy.* For. Ecol. Manag. 257: 820-828.

- Briffa K. R. 1984. *Tree climate relationships and dendroclimatological reconstruction in the British Isles*. Diss., Univ. of East Anglia, Norwich UK.
- Bruchwald A. 1988. *Przyrodnicze podstawy budowy modeli wzrostu*. Sylwan 132 (11): 1-10.
- Chałupka W. 1975. *Wpływ czynników klimatycznych na urodzaj szyszek u świerka pospolitego (Picea abies (L.) Karst.) w Polsce*. Arbor. Kórnickie 20: 213-225.
- Chałupka W. 1993. *Fizjologia kwitnienia i obradzania*. W: Białobok S, Boratyński A., Bugała W. (red.). *Biologia sosny zwyczajnej*. Inst. Dendrologii PAN, Sorus, Poznań-Kornik: 112-124.
- Chałupka W., Giertych M., Królikowski Z. 1976. *The effect of cone crops in Scots pine on tree diameter increment*. Arbor. Kórnickie 21: 361-366.
- Chałupka W., Kosiński G. 1986. *Fizjologia wzrostu i rozwoju*. W: Białobok S. *Modrzewie (Larix Mill.)*. Inst. Dendrologii PAN, PWN, Warszawa-Poznań. 171-212.
- Cook E. R. 1985. *A time series analysis approach to tree-ring standardization*. Diss., Univ. of Arizona, Tucson.
- Dobosz M. 2004. *Wspomagana komputerowo statystyczna analiza wyników badań*. Akad. Oficyna Wyd. EXIT, Warszawa.
- Eckstein D., Bauch J. 1969. *Beitrag zur Rationalisierung eines dendrochronologischen Verfahrens und zur Analyse seiner Aussagesicherheit*. Forstw. Cbl. 88 (4): 230-250.
- Ermich K. 1959. *Badania nad sezonowym przebiegiem przyrostu grubości pnia u Pinus silvestris L. i Quercus robur L.* Acta Soc. Bot. Pol. 28: 15-63.
- Feliksik E., Wilczyński S. 1998. *Wpływ temperatury i opadów na przyrost roczny drewna świerka, sosny i modrzewia występujących w leśnictwie Piersściec u podnóża Pogórza Wilamowickiego*. Prob. Zag. Ziem Gór. 44: 77-86.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2001. *The influence of temperature and rainfall on the increment width of native and foreign tree species from the Istebna Forest District*. Folia For. Pol., Ser. A - Forestry 43: 104-114.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2008. *Sygnal klimatyczny w słojach Picea sitchensis (Bong.) Carr. oraz Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco*. Sylwan 152 (6): 3-13.
- Feliksik E., Wilczyński S. 2009. *Relationships between climate and radial growth for native and nonnative trees on the homogeneity site*. Geochronometria 33: 49-57.
- Frank D., Esper J. 2005. *Characterization and climate response patterns of a high-elevation, multi-species tree-ring network in the European Alps*. Dendrochronologia 22: 107-121.
- Fritts H. C. 1976. *Tree Rings and Climate*. Acad. Press, London.
- Fritts H. C., Blasing T. J., Hayden B. P., Kutzbach J. E. 1971. *Multivariate techniques for specifying tree-growth and climate relationships and for reconstructing anomalies in paleoclimate*. J. Appl. Meteorol. 10 (5): 845-864.
- Graybill D. A. 1982. *Chronology development and analysis*. W: Hughes M. K., Kelly P. M., Pilcher J. R., Lamarche Jr. V. C. (red.). *Climate from Tree Rings*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. 21-31.
- Holmes R. L. 1983. *Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement*. Tree-Ring Bull. 43: 69-78.
- Kilgore J. S., Telewski F. W. 2004. *Climate-growth relationships for native and nonnative pinaceae in northern Michigan's Pine Barrens*. Tree-Ring Research 60 (1): 3-13.
- Lindholm M., Lehtonen H., Kolström T., Meriläinen J., Eronen M., Timonen M. 2000. *Climatic signals extracted from ring-width chronologies of Scots pine from the northern, middle and southern parts of the boreal forest belt in Finland*. Silva Fenn. 34: 317-329.
- Muter E. 2004. *Dynamika przyrostu na grubość i jej uwarunkowania u wybranych gatunków drzew w Puszczy Niepołomickiej*. Praca doktorska - maszynopis, Akad. Rolnicza w Krakowie.
- Oleksyn J., Prus-Głowacki W., Giertych M., Reich P. B. 1994. *Relation between genetic diversity and pollution impact in a 1912 experiment with East European Pinus sylvestris provenances*. Can. J. For. Res. 24: 2390-2394.
- Puchalski T., Prusinkiewicz Z. 1996. *Ekologiczne podstawy siedliskoznawstwa leśnego*. PWRiL, Warszawa.
- Rolland C. 2000. *Decreasing teleconnections with inter-site distance in monthly climatic data and tree-ring width networks in a mountainous Alpine area*. Theor. Appl. Climatol. 71: 63-73.
- Tardif J., Conciatori F., Bergeron Y. 2001. *Comparative analysis of the climatic response of seven boreal tree species from northwestern Quebec, Canada*. Tree-Ring Res. 57 (2): 169-181.
- Tuovinen M. 2005. *Response of tree-ring width and density of Pinus sylvestris to climate beyond the*

continuous northern forest line in Finland. Dendrochronologia 22: 83-91.

- Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. 1984. *On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology.* J. Clim. App. Meteor. 23: 201-213.
- Wilczyński S. 2010. *Uwarunkowania przyrostu radialnego wybranych gatunków drzew z Wyżyny Kieleckiej w świetle analiz dendroklimatologicznych.* Zesz. Nauk. UR w Krakowie, Rozprawy 464 (341).
- Wilczyński S., Podlaski R. 2007a. *Heat as a factor determining the activity of cambium in black alder (Alnus glutinosa (L.) Gareth.) on moist sites.* EJPAU, ser. Forestry 10 (1).
- Wilczyński S., Podlaski R. 2007b. *Air temperature, precipitation, and sunshine - the factors deciding on the activity of cucumbertree (Magnolia acuminata L.) vascular cambium.* EJPAU, ser. Horticulture 10 (1).

Sławomir Wilczyński^{1*}, Bogdan Wertz²

*rlwilczy@cyf-kr.edu.pl

¹Katedra Ochrony Lasu, Entomologii i Klimatologii Leśnej, Wydział Leśny UR, Kraków

²Katedra Dendrometrii, Wydział Leśny UR, Kraków